Environnement Canada
Environment Canada

Gouvernement du Québec
Ministère de l'Environnement

Critères intérimaires pour l'évaluation de la qualité des sédiments du Saint-Laurent

Canada

Centre Saint-Laurent

92-05731/

CRITÈRES INTÉRIMAIRES POUR L'ÉVALUATION DE LA QUALITÉ DES SÉDIMENTS DU SAINT-LAURENT

Environnement Canada
Centre Saint-Laurent

et

Ministère de l'Environnement du Québec

Avril 1992

©Ministre des Approvisionnements et Services Canada 1991

N° de catalogue Em 40-418/1991F

ISBN 0-662-97096-9

PERSPECTIVE DE GESTION

Le présent document s'inscrit dans le cadre du Plan d'action Saint-Laurent. Il a été réalisé pour la Direction du développement technologique qui vise à développer divers outils d'évaluation de la qualité du milieu aquatique. Dans ce contexte, la Division des technologies de restauration du Centre Saint-Laurent, en collaboration avec la Direction de la protection de l'environnement et le Service canadien de la faune d'Environnement Canada, Pêches et Océans et le ministère de l'Environnement du Québec, a procédé à la révision des critères pour l'évaluation de la qualité des sédiments du Saint-Laurent. Les firmes Procéan Inc. et Roche Ltée ont participé activement à cette révision.

ÉQUIPE DE TRAVAIL

Un comité scientifique réuni par le Centre Saint-Laurent a participé à la révision des critères pour l'évaluation de la qualité des sédiments du Saint-Laurent. Ce comité était formé des personnes suivantes:

René Rochon, Chef, Division des technologies de restauration, Centre Saint-Laurent, Environnement Canada
Lucie Olivier, déléguée scientifique, Centre Saint-Laurent, Environnement Canada
Isabelle Guay, ministère de l'Environnement du Québec
Jacques Bérubé, consultant, Centre Saint-Laurent, Environnement Canada
Michel Beaulieu, ministère de l'Environnement du Québec
Caroll Bélanger, Direction de la protection de l'environnement, Environnement Canada
Gilles Brunet, ministère de l'Environnement du Québec
Louise Champoux, Service canadien de la faune, Environnement Canada
Jean-Maurice Coutu, Pêches et Océans

Chez les consultants, l'équipe de travail qui a participé aux différentes phases de l'étude et à la rédaction du rapport ayant servi de support au présent document se compose des personnes suivantes :

Procéan Inc.
Serge Hébert, biologiste
Martine Lafond, écotoxicologiste
Sylvain Ouellet, océanographe-chimiste
Magella Pelletier, géochimiste
Marc Pelletier, océanographe-géologue, chargé de projet
Marie-France Richard, secrétaire
Donald Boudreau, dessinateur-cartographe

Roche Ltée
Isabelle Landry, biologiste médical
Guy Breton, biologiste
Jean-Claude Belles-Isles, biologiste
Frédéric de Moor, biologiste médical
Eric Roy, technicien

Les personnes suivantes été consultées : M. Richard Carignan, chercheur à l'INRS-Eau, le D^r Juanita Gearing et M. Charles Gobeil de l'Institut Maurice Lamontagne et le D^r Émilien Pelletier du Centre Océanologique de Rimouski.

RÉSUMÉ

Le présent document constitue le résultat d'un projet de révision des critères pour l'évaluation de la qualité des sédiments du Saint-Laurent. Il fait suite à une étude qui a permis d'évaluer les méthodologies et les approches scientifiques qui sont à l'origine de critères de qualité des sédiments et de sélectionner, à partir des approches choisies et pour certaines substances importantes, des critères applicables au contexte québécois du Saint-Laurent.

L'évaluation des stratégies d'application des critères utilisées par les différents organismes chargés de la gestion des sédiments contaminés a permis de définir trois niveaux d'évaluation :

- Seuil sans effet (SSE) : teneur de base, sans effet chronique ou aigu;
- Seuil d'effets mineurs (SEM) : teneur où sont observés des effets mais qui est tolérée par la majorité des organismes;
- Seuil d'effets néfastes (SEN) : teneur qui suscite des effets nuisibles pour la majorité des organismes.

Après une revue et une évaluation des différentes approches scientifiques utilisées à travers le monde dans l'élaboration de critères, les approches les plus appropriées au Saint-Laurent ont été sélectionnées pour chaque seuil.

Pour le seuil sans effet, l'approche Teneur de fond a été retenue. Les critères proposés sont généralement basés sur les données présentement disponibles sur les concentrations des différents contaminants dans les sédiments du Saint-Laurent.

Pour les seuils d'effets mineurs (SEM) et néfastes (SEN), le comité formé par le Centre Saint-Laurent a retenu l'approche Teneur de dépistage (*Screening Level Concentration* ou SLC) principalement à cause de son degré élevé de protection et de certaines similitudes entre l'environnement benthique des Grands Lacs et celui du Saint-Laurent. Le 15e percentile de l'approche SLC a été retenu pour le seuil d'effets mineurs tandis que le 90e percentile de cette même approche correspond au seuil d'effets néfastes.

Le document présente les critères de qualité pour les sédiments du Saint-Laurent, des lignes directrices ainsi que des recommandations pour leur application.

Il faut toutefois souligner le caractère intérimaire de ces critères; ils devront faire l'objet de révisions périodiques pour intégrer les nouvelles connaissances sur le Saint-Laurent et les développements futurs en écotoxicologie.

ABSTRACT

This document is the result of a revue of the St. Lawrence sediment quality criteria following a study on the various methods and approaches used in developing sediment quality criteria. From the wide range of criteria investigated, the criteria best adapted to the Québec section of the St. Lawrence River system were selected for important contaminants.

Based on an in-depth analysis of the methods and approaches used by the various agencies involved in the management of contaminated sediments, three levels of evaluation were defined:

- No Effect Level : the concentration of a substance that will cause no chronic or acute effects;
- Minimal Effect Level : the concentration of a substance at which some effects are noticeable but that is tolerated by most living organisms.
- Toxic Effect Level : the concentration of a substance that will cause adverse effects in most living organisms.

On the basis of a review and an evaluation of the various scientific approaches used in developping criteria, the most suitable approaches have been selected for each level.

For the No Effect Level, the Background approach was selected. The criteria chosen are generally based on the data actually available for the St. Lawrence sediments.

For the Minimal and Toxic Effect Levels, the scientific committee of the St. Lawrence Centre opted for the Screening Level Concentration (SLC) approach, mostly on the basis of its high level of protection and because of the similarity between the benthic environments of the Great Lakes and of the St. Lawrence River.

The 15th percentile in the SLC approach was adopted for the Minimal Effect Level, while the 90th percentile in the SLC approach was selected for the Toxic Effect Level.

Criteria for the St. Lawrence sediments, guidelines and recommendations for

the implementation of criteria are also presented.

Nevertheless, the temporary nature of these criteria must be emphasized, since they will be periodically updated according to the data acquired on the St. Lawrence System, and to the developments in ecotoxicology.

TABLE DES MATIÈRES

RÉSUMÉ		v
ABSTRACT		vii
FIGURE		x
TABLEAUX		x
1	**INTRODUCTION**	1
2	**NIVEAUX DE GESTION**	3
2.1	Niveau 1 Seuil sans effet (SSE)	3
2.2	Niveau 2 Seuil d'effets mineurs (SEM)	3
2.3	Niveau 3 Seuil d'effets néfastes (SEN)	3
3	**APPROCHES SCIENTIFIQUES RETENUES**	5
3.1	Teneur de fond	5
3.2	Teneur de dépistage	6
4	**SÉLECTION DE CRITÈRES APPLICABLES AU SAINT-LAURENT**	9
4.1	Substances inorganiques	9
4.1.1	Niveau 1 Seuil sans effet (SSE)	9
4.1.2	Niveau 2 Seuil d'effets mineurs (SEM)	12
4.1.3	Niveau 3 Seuil d'effets néfastes (SEN)	12
4.2	Substances organiques	13
4.2.1	Niveau 1 Seuil sans effet (SSE)	13
4.2.2	Niveau 2 Seuil d'effets mineurs (SEM)	13
4.2.3	Niveau 3 Seuil d'effets néfastes (SEN)	14
5	**APPLICATION DES CRITÈRES**	15
5.1	Gestion des matériaux dragués	15
5.2	Restauration de sites aquatiques contaminés	17
5.3	Substances à considérer	18
5.4	Utilisation et application des critères	20
6	**RÉFÉRENCES**	25

FIGURE

1	Calcul de la teneur de dépistage	8

TABLEAUX

1	Critères intérimaires retenus pour l'évaluation de la qualité des sédiments du Saint-Laurent (Avril 1992)	10
2	Niveaux d'évaluation des sédiments et interventions en fonction du degré de contamination	16
3	Liste de substances retenues pour l'évaluation routinière de la qualité des sédiments du Saint-Laurent (Avril 1992)	19
4	Autres substances pour lesquelles des critères de qualité ont été définis par le ministère de l'Environnement de l'Ontario avec l'approche SLC (Avril 1992)	21
5	Liste de substances à considérer dans le cadre de la partie VI de la loi canadienne sur la protection de l'environnement (Avril 1992)	22

1 INTRODUCTION

La Division des technologies de restauration du Centre Saint-Laurent, en collaboration avec la Direction de la protection de l'environnement et le Service canadien de la faune d'Environnement Canada, Pêches et Océans et le ministère de l'Environnement du Québec, a confié à Procéan Inc. et Roche Ltée le mandat de recueillir l'information permettant de réviser les critères d'évaluation de la qualité des sédiments du Saint-Laurent.

À partir d'approches privilégiées et sur la base des connaissances actuelles des caractéristiques biogéochimiques du Saint-Laurent, cette étude a proposé des critères applicables à ce fleuve. Elle présente aussi des lignes directrices et une stratégie d'application de ces critères ainsi que la réglementation existante en matière de sédiments contaminés pour ce cours d'eau.

Le rapport actuel présente les choix effectués. Il décrit l'approche scientifique retenue pour chaque niveau d'évaluation, la liste des critères retenus, les lignes directrices et des recommandations pour l'application de ces critères.

2 NIVEAUX DE GESTION

Suite à une consultation de la littérature et des organismes chargés de l'élaboration de méthodes de gestion des sédiments, trois niveaux de gestion ont été identifiés correspondant chacun à un seuil d'effets sur le milieu (Procéan, 1991).

2.1 Niveau 1 Seuil sans effet (SSE)

Ce niveau correspond à la teneur de base, sans effet chronique ou aigu sur les organismes benthiques, sur la qualité de l'eau ou les différents usages liés à l'eau. Il permet de dépister les sédiments contaminés. On considère que le milieu est intègre lorsque les concentrations enregistrées ne dépassent pas ce seuil. Au-dessus, des impacts potentiels sur les organismes benthiques et sur les utilisations de l'eau sont possibles.

Il apparaît essentiel à toute évaluation de la qualité des sédiments pour les fins de suivi général de la qualité des environnements aquatiques. Il devrait permettre de dépister la présence de nouvelles sources de contamination lorsque les critères associés à ce seuil sont dépassés dans une zone où ils ne l'avaient jamais été.

2.2 Niveau 2 Seuil d'effets mineurs (SEM)

Le seuil d'effets mineurs correspond à la teneur où l'on observe des effets minimaux sur les organismes benthiques. Ainsi, si les teneurs observées des matériaux dragués se situent sous ce seuil, ces derniers peuvent être rejetés en eau libre ou utilisés à d'autres fins, sans restriction. Si les concentrations dépassent le SEM, un examen environnemental attentif doit guider la conception des projets ainsi que le choix des modes d'élimination.

2.3 Niveau 3 Seuil d'effets néfastes (SEN)

Le seuil d'effets néfastes se définit comme la teneur critique au-dessus de laquelle les dommages aux organismes benthiques sont majeurs. À titre d'exemple, le

rejet en eau libre de matériaux dragués dont la teneur dépasse ce seuil est à proscrire. Ces matériaux contaminés devraient faire l'objet d'un traitement ou d'un confinement sécuritaire. Le SEN correspond également au niveau de contamination au-delà duquel il faudrait tarir les sources de contamination et envisager la possibilité de restaurer le milieu affecté.

Dans le cas de projets de restauration, un quatrième niveau devra être déterminé, le *seuil inférieur de restauration* (SIR) indiquant la limite inférieure à atteindre lors de projets de restauration. Cet objectif de décontamination devra être fixé cas par cas et devra faire l'objet de considérations socio-économiques et technologiques en plus des considérations toxicologiques et environnementales.

3 APPROCHES SCIENTIFIQUES RETENUES

Les approches scientifiques qui ont servi de base à la sélection des critères de qualité pour le Saint-Laurent sont présentées dans les lignes qui suivent.

3.1 Teneur de fond

L'approche Teneur de fond (*Background Approach*, BA) a été sélectionnée pour les teneurs en contaminants qui ne dépassent pas le seuil sans effet (SSE) pour les organismes (niveau 1).

Les critères de qualité des sédiments sont élaborés sur la base des concentrations chimiques de contaminants mesurées dans des sites considérés comme ayant des niveaux de contamination acceptables et des effets biologiques non préjudiciables (Beller *et al.*, 1986).

Cette approche est simple. Elle a été appliquée à partir des critères du ministère de l'Environnement de l'Ontario (MEO) (Persaud *et al.*, 1991) et des données acquises antérieurement dans le Saint-Laurent et qui proviennent de l'analyse de carottes de sédiments profonds et de sédiments récents.

Les publications fournies par les chercheurs impliqués en toxicologie et en géochimie des contaminants, la banque de données du Centre Saint-Laurent sur les teneurs de fond dans les sédiments du fleuve ainsi que la consultation de chercheurs qui ont travaillé à l'évaluation de la qualité des sédiments du Saint-Laurent ont servi à établir les critères de niveau 1. Des critères de qualité québécois basés sur la teneur naturelle ont d'ailleurs été développés antérieurement (Vigneault *et al.*, 1978).

Cette approche constitue un choix intérimaire jusqu'à ce que l'amélioration des autres approches permette de mieux définir le seuil sans effet (SSE). L'équilibre de partition de toxicité chronique s'avère être une approche prometteuse pour les substances bioaccumulables; des critères ne sont malheureusement pas disponibles actuellement pour toutes les substances.

3.2 Teneur de dépistage

L'approche Teneur de dépistage (*Screening Level Concentration* ou SLC) a été retenue pour sélectionner les critères de qualité des sédiments pour les seuils d'effets mineurs (SEM) et néfastes (SEN) (niveaux 2 et 3).

Compte tenu de la prépondérance des zones de sédiments contaminés dans la portion fluviale du Saint-Laurent, l'approche SLC a été retenue en raison de son degré élevé de protection et du fait que ses critères ont pour la plupart été développés pour un environnement d'eaux douces qui comporte plusieurs similitudes avec le Saint-Laurent. En effet, bien que le contexte sédimentologique des Grands Lacs puisse être sensiblement différent de certaines zones du Saint-Laurent, il faut tout de même souligner que ces deux environnements se ressemblent au niveau des communautés benthiques et des apports anthropiques.

Cette approche utilise des données de terrain sur la coexistence de l'endofaune benthique et de concentrations variées de contaminants. Elle estime, pour chaque contaminant, la plus grande concentration pouvant être tolérée par une proportion spécifique (dans le cas présent 15 p. 100 et 90 p. 100) d'espèces de l'endofaune benthique (Neff *et al.*, 1986; McDonald *et al.*, 1990). Parce que l'approche utilise des données de terrain sur la coexistence de contaminants et d'espèces benthiques, les facteurs environnementaux agissant sur la distribution des espèces sont déjà intégrés dans les données. Elle tient compte des effets biologiques et permet l'élaboration de critères de qualité des sédiments pour protéger les organismes benthiques.

Le calcul de la Teneur de dépistage s'effectue en deux étapes. La première étape consiste à établir la distribution des concentrations d'une substance à tous les endroits (minimum de 20 emplacements) où une espèce est présente. Le 90e percentile de cette distribution de concentrations pour chaque espèce répertoriée, la SSLC (*Species screening level concentration*) ou Teneur de dépistage applicable aux espèces est ensuite déterminée. La deuxième étape consiste à regrouper graphiquement les 90e percentiles ou SSLC, pour toutes les espèces présentes (minimum 10) par ordre croissant de concentrations. La SLC est un percentile de distribution des (SSLC) et représente la plus

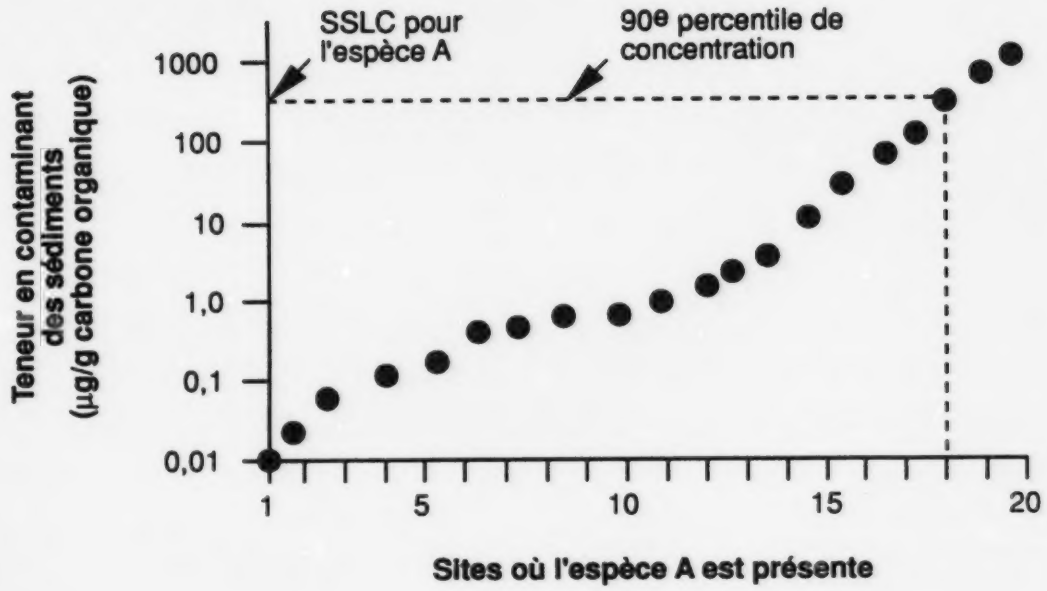
grande concentration tolérée par un pourcentage donné d'espèces de l'endofaune benthique. Une SLC de 5 p. 100 représente la plus grande concentration tolérée par 95 p. 100 des espèces benthiques, et une SLC de 90 p. 100 représente la plus grande concentration tolérée par 10 p. 100 des espèces benthiques (figure 1).

Cette approche ne peut identifier les relations cause-effet, mais elle intègre les interactions des contaminants, les facteurs environnementaux et toutes les voies d'exposition dans la réponse des organismes. Elle intègre aussi dans la réponse biologique les modifications de type chronique comme la reproduction et la fécondité et les effets sur la croissance. Elle évite donc le problème de l'extrapolation de données de bioessais en laboratoire aux situations de terrain et aussi l'incertitude associée à l'utilisation des coefficients de partition.

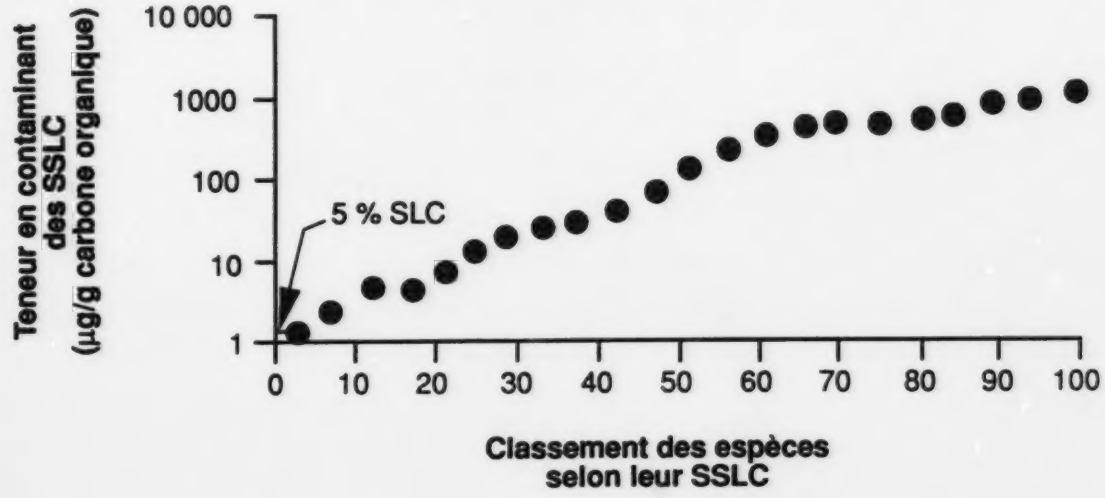
Elle permet l'élaboration de niveaux de protection qui dépendent du percentile utilisé pour établir la SLC ou teneur de dépistage. Le percentile 15 permet de protéger 85 p. 100 des organismes benthiques, alors que le percentile 90 protège 10 p. 100 des organismes benthiques. Le MEO a appliqué cette approche aux Grands Lacs et a publié une liste de 35 critères d'eaux douces pour différents contaminants (Persaud *et al.*, 1991). De plus des critères pour les eaux douces et salées ont aussi été élaborés par Neff *et al.* (1986 et 1987).

L'approche SLC a d'abord été développée pour les substances organiques non polaires, pour lesquelles a été réalisée une normalisation des concentrations en fonction de leur biodisponibilité. Cette normalisation réduit la variabilité des données et permet l'obtention d'un critère de qualité plus juste et plus universel (Baudo *et al.*, 1990).

Cette approche est également employée avec les métaux et les substances organiques polaires; dans ce cas les concentrations globales sont utilisées sans facteur de normalisation.



a. Calcul des teneurs de dépistage pour chaque espèce et pour chaque contaminant (SSLC)



b. Calcul de la teneur de dépistage (SLC)

Source : Ministère de l'Environnement de l'Ontario, juillet 1990.

Figure 1 Calcul de la teneur de dépistage

4 SÉLECTION DE CRITÈRES APPLICABLES AU SAINT-LAURENT

Le tableau 1 présente les critères intérimaires retenus. Ils ont été sélectionnés parmi les critères inventoriés pour les approches retenues précédemment et selon l'information disponible sur les concentrations détectées dans le couloir fluvial du Saint-Laurent. Ces critères représentent l'état actuel des connaissances dans le domaine et pourraient être modifiés par l'acquisition de nouvelles données sur le Saint-Laurent et par des études écotoxicologiques subséquentes.

4.1 Substances Inorganiques

4.1.1 Niveau 1 : Seuil sans effet (SSE). - Ce niveau présente des valeurs choisies à partir d'une variété de teneurs qui sont les plus représentatives des teneurs de fond du Saint-Laurent. Ces teneurs ont été tirées de publications fournies par les chercheurs impliqués dans les domaines de la toxicologie et de la géochimie des contaminants du Saint-Laurent (Barbeau *et al.* (1981), Gobeil *et al.* (1988), Loring (1978), Loring *et al.* (1978), Pelletier *et al.* (1988 et 1989), Sérodes (1978)), par le MEO (Persaud *et al.*, 1991) ainsi que des données fournies par le Centre Saint-Laurent à partir desquelles une moyenne arithmétique des teneurs les plus faibles a été calculée.

Des entrevues avec des chercheurs du COR (Centre Océanologique de Rimouski), de l'INRS-Eau et avec des consultants ont permis de définir plus clairement les valeurs représentant les teneurs de fond en eaux douces et salées, et d'établir le degré de correspondance des valeurs mesurées dans le fleuve avec les critères de qualité des sédiments fournis par le MEO. Dans la plupart des cas, les valeurs définies pour les teneurs de fond en eaux douces et salées correspondent, c'est pourquoi une même valeur Teneur de fond a été attribuée à ces deux milieux. Plusieurs chercheurs avaient d'ailleurs supposé que ces valeurs seraient semblables, étant donné que les sédiments du fleuve Saint-Laurent intègrent les variations locales de la composition géochimique des sédiments de son bassin de drainage. Lors d'une prochaine révision

Tableau 1 Critères intérimaires retenus pour l'évaluation de la qualité des sédiments du Saint-Laurent (Avril 1992)

PARAMÈTRES en µg/g ou µg/g pour 1 % COT[1]	NIVEAU 1[2] (SSE)	NIVEAU 2 (SEM)	NIVEAU 3 (SEN)
Arsenic extractible	3,0	7	17
Cadmium extractible	0,2	0,9	3
Chrome extractible	55	55	100
Cuivre extractible	28	28	86
Mercure total	0,05	0,2	1
Nickel extractible	35	35	61
Plomb extractible	23	42	170
Zinc extractible	100	150	540
BPC (totaux)	0,02	0,2	1
Aroclor - 1016	-	0,01	0,4
Aroclor - 1248	-	0,05	0,6
Aroclor - 1254	-	0,06	0,3
Aroclor - 1260	-	0,005	0,2
Aldrine	0,0006	0,002	0,04
BHC (totaux)	-	0,005	0,1
α-BHC	0,0003	0,01	0,08
ß-BHC	0,0002	0,03	0,2
γ-BHC	0,0009	0,003	0,009
Chlordane	0,001	0,007	0,03
DDD et p,p'-DDD	0,002	0,01	0,06
p,p'-DDE	0,002	0,007	0,05
DDT	0,006	0,009	0,05
Dieldrine	0,0001-0,0008	0,002	0,3
Endrine	0,001	0,008	0,5
HCB	0,001	0,03	0,1
Heptachlore	0,0003	0,0003	0,01
Heptachlore époxyde	0,001	0,005	0,03

Tableau 1 Critères intérimaires retenus pour l'évaluation de la qualité des sédiments du Saint-Laurent (Avril 1992) (suite)

PARAMÈTRES en µg/g ou µg/g pour 1 % COT[1]	NIVEAU 1[2] (SSE)	NIVEAU 2 (SEM)	NIVEAU 3 (SEN)
Mirex	0,0001	0,011	0,8
HAP (haut poids moléculaire)	1	-	-
Benzo(*a*)anthracène	0,05-0,1	0,4	0,5
Benzo(*a*)pyrène	0,01-0,1	0,5	0,7
Benzofluoranthène	0,3	-	-
Benzo(*ghi*)périylène	0,1	-	-
Chrysène	0,1	0,6	0,8
Dibenzo(*ah*)anthracène	0,005	-	-
Fluoranthène	0,02-0,2	0,6	2
Indéno(1,2,3, *cd*)pyrène	0,07	-	-
Pyrène	0,02-0,1	0,7	1
HAP (bas poids moléculaire)	0,1	-	-
Acénaphtène	0,01	-	-
Acénaphtylène	0,01	-	-
Anthracène	0,02	-	-
Fluorène	0,01	-	-
2MéthylNaphtalène	0,02	-	-
Naphtalène	0,02	0,4	0,6
Phénanthrène	0,03-0,07	0,4	0,8

[1] Tous les paramètres sont exprimés en microgrammes par gramme (µg/g) de sédiments secs à l'exception des paramètres organiques non polaires de niveau 3 qui sont exprimés en microgrammes par gramme de sédiments secs pour 1 p. 100 (1 %) de carbone organique total (COT). **Pour établir le critère de qualité d'un paramètre organique non polaire de niveau 3 (en ombragé) dans une situation donnée, il faut multiplier le critère de ce tableau par le pourcentage de COT de l'échantillon à évaluer jusqu'à un maximum de 10% de COT.** (Ex : Le SEN relatif aux BPC totaux dans un échantillon contenant 2 p. 100 (2 %) de COT sera établi à 1 µg/g x 2 = 2 µg/g). Les valeurs inférieures à dix ont été arrondies à un chiffre significatif tandis que les valeurs supérieures à 10 ont été arrondies à 2 chiffres significatifs.

[2] Lorsque la limite inférieure du domaine d'application d'une méthode d'analyse est supérieure au critère de niveau 1, cette limite doit être utilisée jusqu'à ce que des développements méthodologiques l'abaissent au niveau du critère retenu.

des critères de qualité des sédiments on tentera, à la lumière d'une meilleure connaissance de la contamination des différents secteurs du fleuve, de mettre en évidence les variations locales de contaminants et de faire ressortir les situations où des critères différents devront être définis pour les environnements d'eaux douces et salées.

4.1.2 Niveau 2 : Seuil d'effets mineurs (SEM). - Pour ce niveau, les 15e percentiles[1] de l'approche Teneur de dépistage (SLC) ont été utilisés pour établir les critères applicables au Saint-Laurent. Très souvent, la valeur des teneurs de fond fournie pour le premier niveau était plus élevée que les 15e percentiles de la SLC. Dans ce cas, la valeur des teneurs de fond a été retenue à nouveau pour représenter le second niveau. Dans les autres cas, c'est-à-dire lorsque les teneurs de fond sont inférieures aux 15e percentiles de la SLC, ces derniers ont été retenus pour représenter un seuil d'effets mineurs. Le 15e percentile de la SLC paraît plus apte à représenter le niveau d'effets mineurs que le 5e percentile du MEO, qui est trop près de la teneur de fond du Saint-Laurent et qui risque d'être inutilement surprotecteur. Le 15e percentile est presque toujours plus faible que la teneur associée à des effets minimaux chez d'autres approches.

4.1.3 Niveau 3 : Seuil d'effets néfastes (SEN). - Les critères du niveau 3 ont été établis d'après le 90e percentile de l'approche SLC. Ce percentile, plus protecteur que celui retenu par le MEO, se rapproche généralement du point d'inflexion de la plupart des courbes de calcul de la teneur de dépistage des contaminants.

---

[1] Pour les niveaux 2 et 3, les valeurs qui figurent dans le tableau 1 ont été calculées à partir des courbes de distribution fournies par le MEO (Jaagumagi, 1990a et b). Les valeurs des 15e et 90e percentiles ont été calculées à partir des listes d'espèces benthiques et des courbes de distribution des valeurs des SSLC selon les méthodes statistiques normalisées. Ainsi pour le plomb, les valeurs des SSLC sont connues pour 95 espèces. La valeur la plus près du 15e percentile de cette population (95x15/100) est 42 µg/g. Elle correspond à la SSLC de la 14e espèce de la distribution cumulative: *Eukiefferiella sp.*

4.2 Substances organiques

Les données utilisées pour établir ces critères proviennent du Dr Juanita Gearing de l'Institut Maurice Lamontagne (données non publiées), du MEO (Jaagumagi, 1990 a et b) ainsi que de Neff *et al.*(1986 et 1987). Les données de Langlois *et al.* (1988) et de Sloterdijk (1983) provenant respectivement des lacs Saint-Pierre et Saint-François, celles de Cossa (1990), Hart *et al.* (1988), Lyman *et al.* (1987), McDonald *et al.* (1990) incluant celles initialement calculés par Bolton *et al.* (1985), celles de Pavlou *et al.* (1983) ainsi que les données non publiées du Dr Émilien Pelletier du Centre océanologique de Rimouski ont été considérées. On a également tenu compte des valeurs moyennes de la base de données sur la qualité des sédiments du Centre Saint-Laurent.

4.2.1 Niveau 1 : Seuil sans effet (SSE). - Le choix des critères pour ce niveau est basé sur les teneurs de fond mesurées par les différents chercheurs et sur les critères du MEO (Persaud *et al.*, 1991). Comme pour les métaux, il s'agit d'un jugement d'experts qui prend en considération l'état actuel de contamination des sédiments du Saint-Laurent.

En théorie, les concentrations des substances organiques synthétiques devraient être égales à zéro. Toutefois, de l'avis des différents chercheurs consultés les sédiments du Saint-Laurent, même dans les secteurs les moins contaminés, contiennent des traces de la plupart des substances organiques synthétiques qui ne semblent pas avoir d'effet sur les organismes. Ces concentrations se situent généralement très près des limites de détection analytique de l'instrumentation actuelle et fournissent une limite de gestion pratique.

4.2.2 Niveau 2 : Seuil d'effets mineurs (SEM). - Les critères de ce niveau ont été établis à partir des 15e percentiles de la SLC de Neff *et al.* (1986 et 1987) pour les HAP et du MEO (Jaagumagi, 1990a et b) pour tous les autres contaminants organiques. Contrairement aux autres critères, ceux de Neff *et al.* (1986 et 1987) ont été développés

pour un environnement marin.

4.2.3 Niveau 3 : Seuil d'effets néfastes (SEN). - Les critères du troisième niveau ont été établis à partir du 90e percentile de la SLC de Neff *et al.* (1986 et 1987) pour les HAP et du MEO pour tous les autres contaminants organiques. Les critères du MEO pour les substances organiques non polaires avaient été calculés initialement sur la base de 100 p. 100 de Carbone Organique Total (COT) et exprimés en microgrammes par gramme de Carbone (µg/gC) alors qu'ils sont présentés ici en microgrammes par gramme (µg/g) pour 1 p. 100 de COT, ce qui correspond à une valeur 100 fois inférieure à celle calculée par le MEO. Par exemple un critère de 100 µg/gC du MEO est exprimé ici par 1 µg/g pour 1 p. 100 de COT.

Pour établir le critère de qualité d'un paramètre organique non polaire de niveau 3 (en ombragé au tableau 1) dans une situation donnée, il faut multiplier le critère de ce tableau par le pourcentage de COT de l'échantillon à évaluer jusqu'à un maximum de 10% de COT.

5 APPLICATION DES CRITÈRES

Le tableau 2 présente le processus décisionnel général proposé pour deux activités principales, soit la gestion des matériaux dragués et la restauration des sites aquatiques contaminés. Il s'articule autour des trois niveaux présentés aux chapitres précédents.

5.1 Gestion des matériaux dragués

Les matériaux dragués réfèrent essentiellement aux matériaux résultant d'un processus de sédimentation qui sont enlevés du fond d'un cours d'eau. Dans le cadre des activités de gestion des sédiments, des analyses chimiques sont généralement demandées pour les substances prioritaires (se référer à la section 5.3) et, dans certains cas, pour d'autres substances.

Lorsque la concentration de toutes les substances prioritaires exprimées en poids sec (non normalisée par rapport au carbone organique) se situe au premier niveau (SSE) ou en-dessous de celui-ci (sédiments de classe 1), l'environnement paraît sécuritaire pour les organismes benthiques, et le site est jugé exempt de pollution. Du point de vue de leur qualité, les matériaux peuvent être utilisés sans restriction d'usage.

Lorsque la concentration d'un contaminant excède le premier niveau sans dépasser le second, on estime que les sédiments ont un effet négligeable sur la faune benthique. Lorsque la concentration des substances prioritaires, exprimée en poids sec, se situe à égalité ou en dessous du niveau 2 (SEM) (sédiments de classe 2), les sédiments peuvent avoir des effets toxiques minimaux sur la faune benthique. Les matériaux peuvent alors être rejetés en eau libre ou être utilisés à d'autres fins. On s'assurera toutefois que le dépôt ne contribue pas à détériorer le milieu récepteur.

Lorsque la concentration d'un contaminant trouvé dans les sédiments excède le seuil d'effets mineurs (SEM) (sédiments de classe 3), des effets toxiques plus significatifs sur les organismes benthiques sont appréhendés. Des biotests standardisés

Tableau 2 ***Niveaux d'évaluation des sédiments et interventions en fonction du degré de contamination***

CLASSE	NIVEAU	APPROCHE	EFFETS	GESTION DES MATÉRIAUX DRAGUÉS	RESTAURATION DE SITES CONTAMINÉS
4			Les dommages à l'environnement aquatique sont majeurs.	Les matériaux dragués doivent être traités ou confinés de façon sécuritaire.	On doit tarir les sources de contamination et envisager la possibilité de restaurer les milieux contaminés.
3	Seuil inférieur de restauration (SIR)		Plage de teneurs où les organismes benthiques subissent des effets nuisibles.	Un examen attentif des répercussions environnementales reliées au dragage et à la disposition des sédiments devra être effectué. Des essais appropriés (bioessais, élutriation ou autres) et des analyses chimiques au site de dépôt devront être réalisés. On devra s'assurer que le dépôt ne contribue pas à détériorer la qualité du milieu récepteur.	Niveau visé pour les travaux de restauration. Il devra être établi cas par cas par une étude de risques ou par tout autre moyen adéquat. On doit envisager la possibilité de tarir les sources de contamination et de réduire la migration des contaminants vers des zones de meilleure qualité. La restauration du milieu ne constitue probablement pas une solution souhaitable.
	Niveau 2 Seuil d'effets mineurs (SEM)	15e percentile de la S.L.C. Niveau de contamination qui affecte 15 % des organismes benthiques.			
2			Plage de teneurs pouvant être tolérées par la majorité des organismes benthiques. Impacts potentiels sur les utilisations de l'eau.		
	Niveau 1 Seuil sans effet (SSE)	Teneur de fond. Niveau de référence considéré comme exempt de pollution.		De façon générale, les matériaux peuvent être rejetés en eau libre ou utilisés à d'autres fins sans restriction. On s'assurera toutefois que le dépôt ne contribue pas à détériorer la qualité du milieu récepteur.	Aucune restauration n'est considérée.
1			Plage de teneurs sans effet chronique ou aigu sur les organismes benthiques, la qualité de l'eau ou sur ses usages.		

pour évaluer la toxicité des sédiments devront être entrepris lorsqu'ils seront disponibles. Au-delà de ce seuil, la décision d'accepter ou d'empêcher le rejet en eau libre devra se fonder sur une évaluation environnementale poussée.

Pour être acceptable, le site qui reçoit les résidus de dragage doit posséder des sédiments dont la concentration de contaminants est égale ou supérieure à celle des matériaux dragués. Il faudra également s'assurer que le choix de l'emplacement du dépôt de matériaux dragués n'ait pas d'impacts négatifs sur le milieu (habitats fauniques, conditions hydrodynamiques, espèces d'intérêt ou en danger, etc.) et sur les activités qui y sont reliées (pêche, approvisionnement en eau, aires de plaisance, etc.). Des analyses de risques pourraient être réalisées afin de mieux évaluer les répercussions environnementales liées aux activités de dragage et de dépôt des sédiments dragués.

Lorsque la concentration d'un contaminant trouvé dans les sédiments excède le seuil d'effets néfastes (sédiments de classe 4), des effets sévères sont appréhendés. Les matériaux dragués ne doivent pas être rejetés en eau libre; ils doivent plutôt être traités ou confinés de façon sécuritaire.

5.2 Restauration de sites aquatiques contaminés

La restauration réfère au nettoyage des secteurs fortement contaminés. Lorsque la contamination des sédiments se situe sous le seuil d'effets mineurs (SEM), il n'y a pas lieu de restaurer le site. Lorsque la contamination des sédiments excède le seuil d'effets mineurs (SEM) (sédiments de classe 3), des mesures doivent être prises pour identifier les sources polluantes, les contrôler et réduire la migration des contaminants, à moins que la pollution observée ne provienne d'une source naturelle, comme une forte minéralisation, ou de dépôts atmosphériques. La restauration du milieu ne constitue probablement pas une solution souhaitable car les activités de restauration auraient probablement plus de répercussions négatives que de répercussions positives sur le milieu.

Lorsque la concentration d'une seule substance exprimée en poids sec excède le seuil d'effets néfastes (SEN) (sédiments de classe 4), des effets sévères sont anticipés

sur les organismes benthiques. Il faut procéder à l'identification et au contrôle des sources et considérer la possibilité d'entreprendre un processus de restauration. Une évaluation environnementale doit être entreprise; elle devrait être accompagnée d'une analyse de risques. La limite inférieure de restauration idéale demeure le seuil d'effets mineurs (SEM). Cependant chaque cas de restauration devra être analysé individuellement de façon à fixer cas par cas le niveau de décontamination à atteindre (ou *seuil inférieur de restauration*, SIR) selon la situation qui prévaut au site à restaurer et dans son environnement immédiat.

Avant d'en arriver à l'établissement de ce niveau, les paramètres suivants devront être caractérisés et analysés : les teneurs de fond locales, la qualité des sédiments des secteurs adjacents au site à restaurer, les effets réels sur l'environnement, les risques pour la santé ou la sécurité humaine, les conditions hydrodynamiques, la faisabilité technique du projet et ses impacts socio-économiques.

5.3 Substances à considérer

Le tableau 3 présente la liste des substances dont il faut tenir compte dans les projets de caractérisation des sédiments à l'exception des projets concernant l'immersion de déchets en mers où on se réfèrera au tableau 5.

La liste des substances du tableau 3 est recommandée mais non limitative; elle regroupe des substances qui devraient être analysées de façon routinière dans tout projet d'évaluation de la qualité des sédiments du fleuve Saint-Laurent. Selon les conditions particulières au site où seraient entrepris les travaux de dragage ou de restauration, le gestionnaire pourrait être appelé à ajouter ou retrancher une ou plusieurs substances à cette liste. Elle sera de plus révisée périodiquement à la lumière de nouvelles données toxicologiques.

Cette liste ne regroupe que des contaminants majeurs dans les sédiments (ex. : métaux lourds, HAP détaillés) ou des indicateurs importants de la nature des sédiments et de leur contamination (ex. : COT, les différents Aroclor). La liste regroupe les substances les plus souvent retenues par les principaux organismes chargés de prioriser

Tableau 3 Liste de substances retenues pour l'évaluation routinière de la qualité des sédiments du Saint-Laurent (Avril 1992)

SUBSTANCES INORGANIQUES	SUBSTANCES ORGANIQUES
Arsenic extractible	Aroclor 1016
Cadmium extractible	Aroclor 1248
Chrome extractible	Aroclor 1254
Cuivre extractible	Aroclor 1260
Mercure total	Carbone organique total
Nickel extractible	Huiles et graisses minérales*
Plomb extractible	HAP totaux
Zinc extractible	HAP détaillés:
	Acénaphtène
	Acénaphtylène
	Anthracène
	Benzo(*a*)anthracène
	Benzo(*a*)pyrène
	Benzo(*b*)fluoranthène*
	Benzo(*g,h,i*)pérylène
	Benzo(*j*)fluoranthène*
	Benzo(*k*)fluoranthène*
	Benzo(*e*)pyrène*
	Chrysène
	Dibenzo(*a,e*)pyrène*
	Dibenzo(*a,h*)anthracène
	Dibenzo(*a,h*)pyrène*
	Dibenzo(*a,i*)pyrène*
	Dibenzo(a,*j*)acridine*
	Fluoranthène
	Fluorène
	Indéno(1,2,3-*cd*)pyrène
	Naphtalène
	Phénanthrène
	Pyrène
	Méthyl 3-Cholanthrène*
	Méthyl 5-Chrysène*
	Dibenzo-7H(*c,g*)carbazole*
	Diméthyl7,12-benzo(*a*)anthracène*

* Aucun critère de qualité n'a été proposé pour cette substance à partir des approches retenues.

NOTE: Cette liste de substances est recommandée mais non limitative; elle regroupe des substances qui pourraient être analysées de façon routinière dans tout projet d'évaluation de la qualité des sédiments du Saint-Laurent. Selon les circonstances et le site d'échantillonnage, le gestionnaire pourrait être appelé à ajouter ou à retrancher de la liste une ou plusieurs substances. Elle pourra de plus être révisée à la lumière de nouvelles données toxicologiques.

les substances contaminantes.

Le tableau 4 présente les autres substances pour lesquelles des critères ont été définis par le MEO avec l'approche Teneur de dépistage (SLC) mais qui ne font pas partie des analyses recommandées pour tous les projets.

Enfin le tableau 5 regroupe les substances dont il faut tenir compte parce que faisant partie de la partie VI de la *Loi canadienne pour la protection de l'environnement* pour les projets d'immersion de déchets en mer, incluant les sédiments.

5.4 Utilisation et application des critères

Les présents critères de qualité constituent un outil permettant d'évaluer le degré de contamination des sédiments qui prévaut à un lieu et fournissent des indications quant à la nécessité de procéder à des analyses plus poussées, au degré de sécurité à apporter aux activités de dragage et de disposition des matériaux dragués, ou encore informent sur la nécessité d'apporter des mesures correctrices lorsque les lieux sont contaminés. Ils participent à la détermination d'objectifs et de stratégies de restauration et constituent un outil de vérification quant au degré d'atteinte des objectifs de restauration, lorsque des mesures correctives sont retenues.

Ces critères sont destinés à un usage général et n'ont pas été élaborés en fonction de conditions particulières à un lieu. Toutefois leur application pourra être affectée par des différences dans les conditions locales, l'hydrodynamisme du milieu, la faisabilité technique d'un projet, les impacts anticipés ou encore par diverses considérations technologiques, socio-économiques ou juridiques.

Selon les circonstances qui prévalent localement, ces critères peuvent être retenus directement ou modifiés afin de refléter les conditions particulières au site. Par exemple, à un emplacement où la teneur de fond d'un contaminant est plus élevée que la valeur fixée par le critère pour ce contaminant, il conviendra peut-être de modifier le critère pour cet emplacement particulier afin de s'assurer qu'il n'est pas fixé à un niveau inférieur aux concentrations ambiantes.

Leur utilisation pour la détermination de la qualité des sédiments des lacs et

Tableau 4 Autres substances pour lesquelles des critères ont été définis par le ministère de l'Environnement de l'Ontario avec l'approche SLC (Avril 1992)

SUBSTANCES INORGANIQUES	SUBSTANCES ORGANIQUES
Fe extractible Mn extractible	Azote Kjeldahl total Phosphore total PCB totaux Pesticides: Aldrine BHC α-BHC ß-BHC γ-BHC Chlordane DDT totaux o,p-DDT p,p'-DDD p,p'-DDE p,p'-DDT Dieldrine Endrine HCB Heptachlore Heptachlore époxyde Mirex

Tableau 5 Liste des substances à considérer dans le cadre de la partie VI de la loi canadienne sur la protection de l'environnement (Avril 1992)

SUBSTANCES INORGANIQUES	SUBSTANCES ORGANIQUES
Arsenic extractible	Aroclor 1242*
Beryllium extractible*	Aroclor 1254
Cadmium extractible	Aroclor 1260
Chrome extractible	Carbone organique total
Cuivre extractible	Carbone total
Cyanures totaux*	Dioxines*
Mercure total	Furannes*
Nickel extractible	HAP (bas poids moléculaire)
Plomb extractible	HAP (haut poids moléculaire)
Vanadium extractible*	HCB
Zinc extractible	Huiles et graisses totales*
	Phosphore total
	Pesticides:
	Aldrine
	α-BHC
	ß-BHC
	Cis-chlordane*
	Trans-chlordane*
	o,p-DDD*
	o,p-DDT
	p,p'-DDD
	p,p'-DDE
	p,p'-DDT
	Dieldrine
	Endrine
	α-endosulfan*
	ß-endosulfan*
	Heptachlore
	Heptachlore époxyde
	Lindane
	Méthoxychlore*
	Mirex

* Aucun critère de qualité n'a été proposé pour cette substance à partir des approches retenues.

rivières demande également une certaine prudence puisqu'ils ont d'abord été élaborés pour le fleuve.

La sélection des présents critères pour l'évaluation de la qualité des sédiments est basée sur les connaissances actuelles sur la toxicologie des contaminants associés aux sédiments et sur la contamination du Saint-Laurent. Malgré le fait que l'approche retenue pour déterminer les critères d'évaluation de la qualité des sédiments tient déjà compte des effets sur les organismes benthiques, on pourra avoir recours à une batterie d'essais biologiques, lorsque ceux-ci seront disponibles, pour étayer la justification d'intervenir. En attendant ces biotests, qui sont présentement en cours d'élaboration, il ne faudrait pas limiter le développement et l'application de scénarios d'intervention.

Les critères présentés ici résultent d'une évaluation des différentes approches scientifiques et d'ajustements en fonction des conditions propres au Saint-Laurent. Dans de nombreux cas, les choix ont été justifiés en tenant compte de la nature récente et partielle des données disponibles. Ces critères sont intérimaires et devront faire l'objet de réajustements périodiques en fonction des nouveaux développements scientifiques et d'une meilleure connaissance des sédiments du fleuve.

Ainsi, lorsque les teneurs de fond des sédiments du Saint-Laurent seront mieux connues, les critères pourront être ajustés en fonction des différents secteurs du fleuve. De nombreuses recherches sont présentement en cours un peu partout dans le monde, particulièrement au Canada, en Europe et aux États-Unis, afin de mieux préciser les effets écotoxicologiques des sédiments contaminés. Les critères seront donc réajustés en fonction des développements qui en résulteront.

6 RÉFÉRENCES

Barbeau, C., R. Bougie et J.E. Côté (1981). "Temporal and Spatial Variations of Mercury, Lead, Zinc and Copper in Sediments of the Saguenay fjord". *Can. J. Earth Sci., 18*: 1065-1074.

Beller, H., R. Barrick et S. Becker (1986). *Development of Sediment Quality Values for Puget Sound.* Prepared by Tetra Tech Inc. for Resources Planning Associates/ United States Army Corps of Engineers, Seattle District for the Puget Sound Dredged Disposal Analysis Program. Bellevue, Washington.

Bolton, S.H., R.J. Breteler, B.W. Vigon, J.A. Scanlon et S.L. Clark (1985). *National Perspective on Sediment Quality.* Prepared for the United States Environmental Protection Agency. Washington, District of Columbia. 194 p.

Cossa, D. (1990). "Cheminal Contaminants in the St.Lawrence Estuary and Saguenay Fjord", dans H.I. El-Sabh et E.N. Silverberg (éd.). *Oceanography of a Large Scale Estuarine System : The St. Lawrence.* Springer Verlag. Collection Coastal and Estuarine Studies N° 39.

Gobeil, C. et D. Cossa (1988). *Mercury in Sediment and Sediment Porewater of the Lower St. Lawrence Estuary.* Compte-rendu du symposium international sur le devenir et les effets des produits chimiques toxiques dans les fleuves et les estuaires, Québec. 10-14 octobre 1988.

Hart, R.D., J. Fitchko et P.M. McKee (1988). *Development of Sediment Quality Guidelines. Phase II - Guideline Development.* Rapport préparé par Beak Consultants Ltd pour le ministère de l'Environnement de l'Ontario.

Jaagumagi, R. (1990a). *Development of the Ontario Provincial Sediment Quality Guidelines for Arsenic, Cadmium, Chromium, Copper, Iron, Lead, Manganese, Mercury, Nickel and Zinc.* Water Resources Branch, Watershed Management Section. 10 p. + annexes.

Jaagumagi, R. (1990b). *Development of the Ontario Provincial Sediment Quality Guidelines for PCBs and the Organochlorine Pesticides.* Rapport préparé pour le ministère de l'Environnement de l'Ontario.

Langlois, C., J. Bureau et H. Sloterdijk (1988). "Contamination du lac Saint-Pierre par certains polluants organiques et inorganiques". *Troisième colloque sur les substances toxiques*, avril, 18 p.

Loring, D.H. (1978). "Geochemistry of Zinc, Copper and Lead in the Sediments of the Estuary and Gulf of St. Lawrence", *Can. J. Earth Sc., 15*: 757-772.

Loring, D.H. et J.M. Bewers (1978). "Geochemical Mass Balances for Mercury in a Canadian Fjord", *Chemical Geology, 22*: 309-330.

Lyman, W.J., A.E. Glazer, J.H. Ong et S.F. Coons (1987). *An Overview of Sediment Quality in the United States: Final Report.* Préparé pour le United States Environmental Protection Agency, Region V. Washington, District of Columbia.

McDonald, D.D. et S. Smith (1990). *The Development of Canadian Marine Environmental Quality Guidelines.* Rapport présenté à la Direction de la qualité des eaux, Environnement Canada. Ottawa.

Neff, J.M, D.J. Bean, B.W. Cornaby, R.M. Vaga, T.C. Gulbransen et J.A. Scanlon. (1986). *Sediment Quality Criteria Methodology Validation: Calculation of Screening Level Concentrations from Field data.* Work Assignment 56, Task IV. Washington, DC: U.S. E.P.A. Criteria and Standards Division, Office of Water Regulations and Standards, SCD No 7, 225 pp.

Neff, J.M., J.Q. Word et T.C. Gulbransen (1987). *Recalculation of screening level concentrations for nonpolar organic contaminants in marine sediments Final Report.* Washington, DC: U.S. E.P.A. Region V. 18pp.

Pavlou, S.P. et D.P. Weston (1983). *Initial Evaluation of Alternatives for Development of Sediment Related Criteria for Toxic Contaminants in Marine Waters (Puget Sound).* U.S.E.P.A. Office of Water Regulations and Standards, Washington DC 20460, SCD No 0, 89 p.

Pelletier E. et G. Canuel (1988). "Trace Metals in Surface Sediment of the Saguenay Fjord, Canada". *Marine Pollution Bulletin, 19* (7): 336-338.

Pelletier, E., S. Ouellet et S. Maheu (1989). "Étude comparative de la distribution du mercure total et des hydrocarbures polyaromatiques dans les sédiments récents du fjord du Saguenay", *Compte-rendu du Symposium sur le Saint-Laurent,* novembre, Montréal.

Persaud, D., R. Jaagumagi et A. Hayton (1991). *Provincial Sediment Quality Guidelines.* Water Resources Branch, Ontario Ministry of the Environment. 26 p.

Procéan Inc. (1991). *Révision des critères pour l'évaluation de la qualité des sédiments du Saint-Laurent.* Préparé pour le Centre Saint-Laurent, Environnement Canada.

Sérodes, J.B. (1978). *Qualité des sédiments de fond du fleuve Saint-Laurent entre Cornwall et Montmagny.* Comité d'étude sur le fleuve Saint-Laurent. Rapport technique 15, 139 pp.

Sloterdijk, H.H. (1983). "Toxic Substances in Lake St-Francis Sediments", *Can. Tech. Rep. Fish. Aquat. Sci., 1368*: 249-264.

Vigneault, Y. *et al.* (1978). *Plan d'utilisation des matériaux dragués dans le fleuve Saint-Laurent.* Annexe n° 6 préparée par la Direction régionale des eaux intérieures, Environnement Canada, pour le Comité d'étude sur le fleuve Saint-Laurent.